

**BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**

11. 3. 11. 04

EP04/10916

**PRIORITY  
DOCUMENT**SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

REC'D 19 NOV 2004

WIPO

PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung****Aktenzeichen:**

103 45 736,4

**Anmeldetag:**

01. Oktober 2003

**Anmelder/Inhaber:**

Dr. Wulf N ä g e l , 50999 Köln/DE

**Bezeichnung:**

Photovoltaikelement

**IPC:**

H 01 L 31/06

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.****München, den 19. Oktober 2004  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag**  
**Kahle**

031694de/KB-Gr/we

30. September 2003

### **Photovoltaikelement**

Die Erfindung betrifft ein Photovoltaikelement, das insbesondere in Photovoltaikanlagen als Solarzelle verwendet wird, um durch Absorption von Sonnenlicht elektrische Energie zu gewinnen.

Hocheffiziente Solarzellen sind beispielsweise aus „Sonnenenergie: Photovoltaik“ (B. G. Teubner Verlag, Stuttgart, 1997) oder „Forschungsverbund Sonnenenergie Themen 95/96, Photovoltaik 3“ bekannt. Hocheffiziente Photovoltaikelemente weisen danach einen als „p-Basis“ bezeichneten Photonenabsorber auf, der aus monokristallinem, zonengezogenem und p-dotiertem (ca.  $1,5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ) Silizium besteht. Der Photonenabsorber weist dabei eine elektrische Leitfähigkeit von ca.  $1 \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$  und eine Dicke von ca. 200  $\mu\text{m}$  auf. Die dem Licht zugewandte Vorderseite des Photonenabsorbers ist texturiert mit Hilfe vertieft liegender, invertierter Pyramiden. Zur Erzeugung einer hohen Antireflexwirkung ist die Vorderseite des Photonenabsorbers mit einer thermisch aufgewachsenen Siliziumdioxidschicht bedeckt, deren Dicke ca. 100 nm beträgt. Unter der  $\text{SiO}_2$ -Schicht ist eine Emitterschicht angeordnet mit einer Dotierung von ca.  $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  -  $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$  und einer Eindringtiefe von

ca. 0,5 - 3  $\mu\text{m}$ . Zum Zu- bzw. Ableiten der durch die Absorption von Lichtquanten in Bewegung versetzten Elektronen sind auf der Vorderseite des Photonenabsorbers Metallleiter angeordnet, die aus Ti-Pd-Ag bestehen. Auf der Unterseite des Photonenabsorbers wird als Rückkontakt Aluminium aufgedampft. Das aufgedampfte Aluminium ist über Punktkontakte mit einem Back Surface Field (BSF) verbunden. Mit Hilfe der Punktkontakte und dem BSF wird der elektrische Kontakt zwischen dem aufgedampften Aluminium und dem Photonenabsorber gewährleistet.

Mit Hilfe derartiger Photovoltaikelemente kann ein Spitzenwirkungsgrad von 21,3% erreicht werden. Dieser Wirkungsgrad ist allerdings noch zu niedrig. Insbesondere um einen großflächigen Umstieg von fossilen Energieträgern auf erneuerbare Energieträger, insbesondere mit Hilfe von Photovoltaik, zu erreichen, reichen die bisherigen erreichbaren Wirkungsgrade von Photovoltaikelementen nicht aus.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Photovoltaikelement bzw. eine Photovoltaikeinrichtung zu schaffen, bei dem bzw. bei der der Wirkungsgrad verbessert ist.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Photovoltaikelement mit den Merkmalen des Anspruchs 1 sowie durch eine Photovoltaikeinrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 16.

Überraschend wurde festgestellt, dass bei einem erfindungsgemäßen Photovoltaikelement, bei dem ein elektrisch leitfähiges Wirkelement zumindest teilweise in einen Photonenabsorber eingelassen ist, ein höherer Wirkungsgrad erzielt werden kann. Der Photonenabsorber ist insbesondere p-dotiert und dadurch als „p-Basis“ ausgebildet. Das Wirkelement ist dabei von dem Photonenabsorber über eine Phasengrenze getrennt, d.h. bei dem Wirkelement handelt es sich nicht um eine Dotierung des Photonenabsorbers bzw. Legierung des Photonenabsorbers, sondern um ein Element, das im Vergleich zum

Photonenabsorber unterschiedliche physikalische Eigenschaften aufweist. Das Wirkelement weist ferner eine höhere Elektronenbeweglichkeit als der Photonenabsorber auf. Insbesondere ist die elektrische Leitfähigkeit des Wirkelements höher als die des Photonenabsorbers. Vorzugsweise beträgt die elektrische Leitfähigkeit des Wirkelements mehr als  $1,4 \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ , besonders bevorzugt mehr als  $1,6 \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$  und insbesondere mehr als  $2,0 \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ .

Bei dem Wirkelement kann es sich beispielsweise um einen Leiter handeln, so dass im Vergleich zu herkömmlichen Photovoltaikelementen der Leiter nicht außerhalb, sondern innerhalb des Photonenabsorbers angeordnet ist. Überraschend wurde festgestellt, dass das Wirkelement in bevorzugter Ausführungsform elektrisch isoliert ist, d.h. das Wirkelement ist weder mit einem Plus-Pol, noch mit einem Minus-Pol verbunden, sondern zumindest teilweise innerhalb des Photonenabsorbers angeordnet.

Anscheinend weist der eingelassene Teil des Wirkelements eine gewisse Verstärkungseigenschaft auf. Die durch Lichtquanten in Bewegung versetzten Elektronen können anscheinend ihren elektrischen Impuls auf die Elektronen innerhalb des Wirkelements leicht übertragen. Dieser elektrische Impuls wird solange innerhalb des Wirkelements an den Phasengrenzen zum elektrisch dichteren Medium, nämlich dem Photonenabsorber, reflektiert, bis genügend Energie in dem Wirkelement gespeichert ist, um einen energiereichen elektrischen Impuls aus dem Wirkelement heraus durch den Photonenabsorber hindurch zu einem elektrischen Leiter hin übertragen zu können. Die Leiter müssen nicht zwangsläufig ein Teil des erfindungsgemäßen Photovoltaikelements sein, sondern können auch beispielsweise eine äußere Anlagefläche einer das Photovoltaikelement aufnehmenden Photovoltaikeinrichtung sein. Es wird angenommen, dass der Effekt auf ein Resonanzphänomen beruht, das einen Verstärkereffekt zur Folge hat.

In bevorzugter Ausführungsform ist mindestens ein Leiter in den Photonenabsorber zumindest teilweise eingelassen. Der Leiter kann

entsprechend wie das Wirkelement in den Photonenabsorber eingelassen sein, wodurch unterschiedliche Herstellungsverfahren vermieden werden und die Herstellungskosten reduziert sind. Ferner kann der Leiter die gleiche Zusammensetzung wie das Wirkelement aufweisen, so dass die Bereitstellung unterschiedlicher Materialzusammensetzungen vermieden wird.

In bevorzugter Ausführungsform sind in dem Photonenabsorber mindestens zwei Leiter angeordnet, wobei der eine Leiter ein mit einem Plus-Pol verbundener Plus-Leiter und der andere Leiter ein mit einem Minus-Pol verbundener Minus-Leiter ist. In besonders bevorzugter Ausführungsform sind die Plus-Leiter derart angeordnet, dass sie an einer ersten Stirnseite des Photonenabsorbers enden bzw. überstehen und die Minus-Leiter in entsprechender Ausgestaltung an einer zweiten Stirnseite des Photonenabsorbers enden bzw. überstehen. Dadurch ist es möglich, besonders einfach an der ersten Stirnseite mehrere, insbesondere alle, Plus-Leiter über einen ersten Sammel-Leiter und an einer zweiten Stirnseite mehrere, insbesondere alle, Minus-Leiter über einen zweiten Sammel-Leiter miteinander zu verbinden.

Vorzugsweise ist das Photovoltaikelement mehrschichtig ausgestaltet. In dieser Ausführungsform weist das Photovoltaikelement mindestens zwei Photonenabsorber auf, die jeweils über eine Anlagefläche in Kontakt stehen. In besonders bevorzugter Ausführungsform sind die Plus-Leiter und die Minus-Leiter derart angeordnet, dass die Plus-Leiter und die Minus-Leiter über die Anlagefläche voneinander abgegrenzt sind. Dadurch wird eine größere räumliche Trennung der Plus-Leiter und der Minus-Leiter erreicht. Ferner können beide Photonenabsorber, in die beispielsweise sowohl Wirkelemente als auch Leiter angeordnet sind, identisch ausgestaltet werden, wobei die Leiter des einen Photonenabsorbers mit dem Plus-Pol und die Leiter des anderen Photonenabsorbers mit dem Minus-Pol verbunden werden. Dadurch ist das erfindungsgemäße Photovoltaikelement insbesondere zur Massenfertigung geeignet.

Vorzugsweise besteht der Photonenabsorber im Wesentlichen aus Silizium, insbesondere aus monokristallinem Silizium, das ggf. dotiert ist, beispielsweise mit 2,5% Ga und 3,4% In, so dass sich eine „p-Basis“ ergibt. Je nach Anwendungsfall kann auch Siliziumcarbid (SiC), Silizium-Germanium (SiGe), Gallium-Arsenid (GaAs) oder deren Kombinationen verwendet werden, beispielsweise als Multispektralzellen.

Das Wirkelement besteht vorzugsweise zu einem Großteil, insbesondere vollständig, aus einem Metall und ist ggf. dotiert bzw. legiert. Das Metall stammt insbesondere aus der 3. - 6. Hauptgruppe oder der 1. - 8. Nebengruppe gemäß dem Periodensystem der Elemente. Bei dem Metall handelt es sich vorzugsweise um ein Nebengruppenmetall, dessen Elektronenkonfiguration eine äußere d-Schale aufweist, die mit mindestens sechs, insbesondere zehn Elektronen besetzt ist. Hierbei stammt das verwendete Metall insbesondere aus der Gruppe der Meta-Metalle, besonders bevorzugt aus der Gruppe Cu, Zn oder Ga, wobei insbesondere Zn bevorzugt ist. Das verwendete Metall des Wirkelements kann auch aus der Gruppe der Buntmetalle, insbesondere Co, Cu, Bi oder Zn stammen, wobei insbesondere Zn bevorzugt ist. Eine geeignete Legierung des Wirkelements weist beispielsweise die prozentuale Massenzusammensetzung von Fe: 2 - 5%, In: 2 - 4%, Sn: 0,5 - 3%, Zn: Rest, insbesondere Zn: 92%, Fe: 3%, In: 3%, Sn: 2% auf.

Die Erfindung betrifft ferner eine Photovoltaikeinrichtung mit einem Aufnahmeelement, das Ausnehmungen aufweist. In diesen Ausnehmungen sind Photovoltaikelemente angeordnet, wie sie vorstehend beschrieben sind. Die Photovoltaikeinrichtung weist einen ersten und einen zweiten Kontakt-Leiter auf, die mit einem Plus-Pol bzw. einem Minus-Pol verbunden sind. Über den Kontakt-Leiter wird die elektrische Verbindung mit den Photovoltaikelementen gewährleistet. Hierzu sind die Kontakt-Leiter insbesondere mit dem Plus-Leiter bzw. Minus-Leiter und/ oder, sofern vorhanden, mit dem entsprechenden Sammel-Leiter verbunden. Dadurch ist es möglich, in kostensparender,

modularer Bauweise mehrere Photovoltaikelemente, die ggf. selber ebenfalls modular zusammengesetzt sind, miteinander zu verbinden. Hierzu sind in einer Ausnehmung insbesondere mehrere Photovoltaikelemente angeordnet, wobei die Ausnehmung in Kontakt mit mindestens einem Photonenabsorber des Photovoltaikelements steht und insbesondere von den Leitern isoliert ist. Die Photovoltaikeinrichtung ist in bevorzugter Ausführungsform zumindest im Bereich der Ausnehmungen elektrisch leitfähig ausgestaltet und aus einem vorzugsweise aluminiumhaltigen Material zusammengesetzt. Dadurch entsteht ein zusätzlicher Verstärkereffekt zur Steigerung des Wirkungsgrads.

Vorzugsweise werden mehrere erste Kontakt-Leiter mit genau einem ersten Strom-Leiter und mehrere zweite Kontakt-Leiter mit genau einem zweiten Strom-Leiter verbunden. Dadurch ist es möglich, die gesamte, mit Hilfe der erfindungsgemäßen Photovoltaikeinrichtung bereitgestellte Spannung über ein einziges Leiterpaar abzugreifen. Der zweite Strom-Leiter und/ oder der zweite Kontakt-Leiter nehmen die Funktion des „Back Surface Field“ wahr, wobei das „Back Surface Field“ zu einer „Back Surface Line“ reduziert ist. Dadurch ist es möglich, die so geschaffene „Back Surface Line“ zur Vermeidung bzw. Reduzierung von störenden elektrischen Feldern räumlich zu trennen. Der Materialeinsatz zur Realisierung des Rückkontakts ist dadurch reduziert.

In besonders bevorzugter Ausführungsform weist die Photovoltaikeinrichtung Verbindungsmittel auf, um mindestens zwei nebeneinander angeordnete Photovoltaikeinrichtungen mechanisch und elektrisch miteinander zu verbinden. Die mechanische bzw. die elektrische Verbindung kann dabei sowohl mit unterschiedlichen, als auch mit einem gemeinsamen Verbindungsmittel erreicht werden. Dadurch ist es möglich, mehrere Photovoltaikeinrichtungen modular miteinander zu verbinden, um dadurch beispielsweise eine besonders große Photovoltaikanlage zusammenzusetzen.

Eine unabhängige Erfindung besteht in einem Verfahren zur Herstellung monokristallinem Siliziums. Zunächst wird ein Quader aus amorphem Silizium,

das ggf. mit Gallium und/ oder Indium dotiert ist, in Scheiben geschnitten, die der geplanten Schichtdicke eines Photonenabsorbers für ein Photovoltaikelement entsprechen. Diese Scheibe wird langsam, beispielsweise innerhalb von 90 Minuten, auf ca. 933°C erhitzt und insbesondere ca. 30 Minuten lang auf diesem Temperaturniveau gehalten. Anschließend wird die Silizium-Scheibe über einen Zeitraum von beispielsweise acht Stunden auf ca. 300°C vorsichtig abgekühlt. Ab ca. 300°C kann die Abkühlung ungesteuert erfolgen. Nach diesem Vorgang ergibt sich eine vorzugsweise kreisförmige Scheibe gleichmäßiger Schichtdicke aus monokristallinem Silizium. Aus der Silizium-Scheibe werden vorzugsweise drei Photonenabsorber ausgeschnitten bzw. ausgesägt, die in einem definierten Winkel zueinander, vorzugsweise radiärsymmetrisch, angeordnet sind. Durch dieses Verfahren lassen sich Photonenabsorber erzeugen, deren Orientierung der Kristallstruktur zueinander definiert ist. Dadurch ist es insbesondere möglich, zwei Photonenabsorber anisotrop zueinander anzuordnen, wodurch die Absorptionseigenschaft für Lichtquanten erhöht ist. Die anisotrop zueinander angeordneten Photonenabsorber weisen also eine Orientierung der Kristallstruktur auf, die gegenläufig ( $\alpha = 180^\circ$ ) angeordnet ist.

Nachfolgend wird die Erfindung anhand bevorzugter Ausführungsformen unter Bezugnahme auf die anliegenden Zeichnungen näher erläutert.

Es zeigen:

- Fig. 1 eine schematische perspektivische Ansicht eines Photovoltaikelements,
- Fig. 2 eine schematische Schnittansicht des Photovoltaikelements entlang der Linie II-II aus Fig. 1,
- Fig. 3 eine schematische Draufsicht einer zweiten Ausführungsform des Photovoltaikelements,



- Fig. 4 eine schematische Schnittansicht des Photovoltaikelements entlang der Linie IV-IV aus Fig. 3,
- Fig. 5 eine schematische geschnittene Seitenansicht eines mehrschichtigen Photovoltaikelements,
- Fig. 6 eine schematische Seitenansicht des Photovoltaikelements in Richtung des Pfeils VI aus Fig. 5,
- Fig. 7 eine schematische Seitenansicht des Photovoltaikelements in Richtung des Pfeils VII aus Fig. 5,
- Fig. 8 eine schematische Draufsicht einer Photovoltaikeinrichtung,
- Fig. 9 eine schematische Schnittansicht der Photovoltaikeinrichtung entlang der Linie IX-IX aus Fig. 8, und
- Fig. 10 eine schematische Draufsicht einer Silizium-Scheibe zur Herstellung von Photonenabsorbern.

In einem in Fig. 1 dargestellten Photonenabsorber 10 ist ein elektrisch leitfähiges Wirkelement 12 elektrisch isoliert eingelassen. Weitere Wirkelemente sind als Plus-Leiter 14 und als Minus-Leiter 16 ausgestaltet. Zum einfachen Verlöten steht ein Teil des Plus-Leiters 14 über eine erste Stirnseite 18 des Photonenabsorbers 10 über. Entsprechend steht ein Teil des Minus-Leiters 16 über eine zweite Stirnseite 20 des Photonenabsorbers 10 über.

Das Wirkelement 12, der Plus-Leiter 14 und der Minus-Leiter 16 sind vollständig in den Photonenabsorber 10 eingelassen. Ihre vom Photonenabsorber 10 weg gerichteten Oberflächen fluchten mit der Oberfläche des Photonenabsorbers 10 (Fig. 2).

In einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Photovoltaikelements sind in den Photonenabsorber 10 mehrere Wirkelemente 12, Plus-Leiter 14 und Minus-Leiter 16 angeordnet. Es gibt einen Abstand der Wirkelemente 12, Plus-Leiter 14 und Minus-Leiter 16 zueinander, bei dem der Wirkungsgrad besonders hoch ist. Dieser Abstand lässt sich ggf. in Abhängigkeit vom verwendeten Material experimentell ermitteln. Zur elektrischen Isolierung der Wirkelemente 12 sind zwischen den Stirnseiten 18, 20 des Photonenabsorbers 10 und den Stirnflächen der Wirkelemente 12 Silikonkissen 22 angeordnet. Die Wirkelemente 12, die Plus-Leiter 14 sowie die Minus-Leiter 16 sind im Wesentlichen parallel zueinander angeordnet.

Die überstehenden Enden der Plus-Leiter 14 und der Minus-Leiter 16 sind mit einem ersten Sammel-Leiter 24 bzw. einem zweiten Sammel-Leiter 26, insbesondere durch Löten, verbunden (Fig. 4). Die Sammel-Leiter 24, 26 sind auf der ersten Stirnseite 18 bzw. auf der zweiten Stirnseite 20 angeordnet.

Das erfindungsgemäße Photovoltaikelement kann auch mehrschichtig ausgestaltet sein (Fig. 5). Hierzu weist der Photonenabsorber 10 beispielsweise vier Schichten 28, 30, 32, 34 auf, die jeweils über Anlageflächen 36 in Kontakt stehen. Zur Erzeugung einer hohen Antireflexwirkung, um die Licht- bzw. Strahlungsabsorption zu erhöhen, ist der Photonenabsorber 10 vorzugsweise sowohl auf der Oberseite als auch auf der Unterseite im Sinne einer „Lichtfalle“ mit einer texturierten Polycarbonatschicht 38 versehen. Die Polycarbonatschicht 38 ist außen wiederum jeweils mit einer Glasschicht 40 versehen, um das erfindungsgemäße Photovoltaikelement vor Beschädigungen zu schützen. Um eine möglichst hohe Lichtabsorption zu erreichen, weisen die erste Schicht 28 und die dritte Schicht 32 zueinander eine anisotrope Kristallstruktur auf. Entsprechend weist die zweite Schicht 30 und die vierte Schicht 34 zueinander ebenfalls eine anisotrope Kristallstruktur auf. Die obere Hälfte der Schichten, also die erste Schicht 28 und die zweite Schicht 30, können dabei eine Kristallstruktur aufweisen, die zueinander isotrop ist. Das mehrschichtige

Photovoltaikelement 44 wird von einem Aufnahmeelement 54 gehalten, das selber von einer Glasschicht 40 geschützt sein kann.

In der mehrschichtigen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Photovoltaikelements erstrecken sich die Sammel-Leiter 24, 26 vorzugsweise ebenfalls über mehrere Schichten (Fig. 6, Fig. 7). Hierzu sind die Sammel-Leiter 24, 26 beispielsweise sowohl längs als auch quer angeordnet. Da die Plus-Leiter 14 und die Minus-Leiter 16 an gegenüberliegenden Stirnseiten 28 überstehen, ist die Gefahr eines Kurzschlusses vermieden. Es ist aber dennoch bevorzugt, die Sammel-Leiter 24, 26 nicht über die Enden der Leiter mit gegensätzlicher Ladung zu verlegen, um evtl. auftretende Störungen durch starke elektrische Felder in diesem Bereich bzw. Kurzschlüsse zu vermeiden.

Eine erfindungsgemäße Photovoltaikeinrichtung 42 weist mehrere erfindungsgemäße Photovoltaikelemente 44 auf (Fig. 8). Die ersten Sammel-Leiter 24 der Photovoltaikelemente 44 sind jeweils mit einem ersten Kontakt-Leiter 46 verbunden. Entsprechend sind mehrere zweite Sammel-Leiter 26 mit einem zweiten Kontakt-Leiter 48 verbunden. Die ersten Kontakt-Leiter 46 sind wiederum mit einem ersten Strom-Leiter 50 verbunden. Entsprechend sind die zweiten Kontakt-Leiter 48 mit einem zweiten Strom-Leiter 52 verbunden und bilden den als „Back Surface Line“ ausgebildeten Rückkontakt. Ferner weist die Photovoltaikeinrichtung 42 nicht dargestellte Verbindungsmittel auf, um benachbarte Photovoltaikeinrichtungen 42 mechanisch zu verbinden. Ferner werden die Strom-Leiter 50, 52 benachbarter Photovoltaikeinrichtungen 42 elektrisch miteinander verbunden.

Zur Aufnahme mehrerer Photovoltaikelemente 44 weist die Photovoltaikeinrichtung 42 Aufnahmeelemente 54 mit Ausnehmungen 56 auf (Fig. 9). In die Ausnehmungen 56 der Aufnahmeelemente 54 werden die Photovoltaikelemente 44 eingelegt. Hierbei kann das Aufnahmeelement 54 als Verstärker wirken, indem es zumindest teilweise elektrisch leitfähig ausgestaltet

ist und sowohl mit der dritten Schicht 32 als auch mit der vierten Schicht in Kontakt steht. Der Kontakt mit Leitern ist vorzugsweise zu vermeiden.

Zur Herstellung der Photonenabsorber 10 wird zunächst eine Silizium-Scheibe 58 aus monokristallinem Silizium hergestellt (Fig. 10), aus der die Photonenabsorber 10 ausgesägt werden. Vorzugsweise weisen die auszusägenden Photonenabsorber 10 einen Abstand zu einem Rand 60 der Silizium-Scheibe 58 auf, um evtl. auftretende Gefügedefekte im Atomgitter im Randbereich der Silizium-Scheibe 58 zu vermeiden. Der nach dem Aussägen der Photonenabsorber 10 verbleibende Rest der Silizium-Scheibe 58 kann anschließend eingeschmolzen und wieder verwendet werden, so dass ein vollständiges Recyceln des Silizium-Scheiben-Materials möglich ist.

### **Patentansprüche**

1. Photovoltaikelement mit  
  
einem Photonenabsorber (10) und  
  
einem zumindest teilweise in dem Photonenabsorber (10) eingelassenen, elektrisch leitfähigen Wirkelement (12),  
  
wobei das Wirkelement (12) von dem Photonenabsorber (10) über eine Phasengrenze getrennt ist und das Wirkelement (12) eine höhere Elektronenbeweglichkeit als der Photonenabsorber (10) aufweist.
2. Photovoltaikelement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Wirkelement (12) im Wesentlichen elektrisch isoliert ist.
3. Photovoltaikelement nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass in dem Photonenabsorber (10) zumindest teilweise mindestens ein Leiter (14, 16) eingelassen ist, der insbesondere die gleiche Zusammensetzung wie das Wirkelement (12) aufweist.
4. Photovoltaikelement nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Wirkelement (12) und die Leiter (14, 16) im Wesentlichen parallel zueinander angeordnet sind.
5. Photovoltaikelement nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Leiter als Plus-Leiter (14) und Minus-Leiter (16) ausgestaltet sind, wobei der Plus-Leiter (14) an einer ersten Stirnseite (18) des Photonenabsorbers (10) und der Minus-Leiter (16) an einer zweiten Stirnseite (20) des Photonenabsorbers (10) endet oder übersteht.

6. Photovoltaikelement nach Anspruch 5, gekennzeichnet durch mindestens zwei über eine Anlagefläche (36) in Kontakt stehende Photonenabsorber (28, 30, 32, 34), in welche die Plus-Leiter (14) und die Minus-Leiter (16) derart angeordnet sind, dass die Plus-Leiter (14) und die Minus-Leiter (16) über die Anlagefläche (36) voneinander abgegrenzt sind.
7. Photovoltaikelement nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass mehrere Plus-Leiter (14) über einen ersten Sammel-Leiter (24) und mehrere Minus-Leiter (16) über einen zweiten Sammel-Leiter (26) miteinander verbunden sind.
8. Photovoltaikelement nach einem der Ansprüche 1 - 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Photonenabsorber (10) im Wesentlichen aus Silizium, insbesondere aus isotrop-monokristallinem Silizium besteht.
9. Photovoltaikelement nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass jeweils zwei Photonenabsorber (28, 32; 30, 34) eine zueinander anisotrope Kristallstruktur aufweisen.
10. Photovoltaikelement nach einem der Ansprüche 1 - 9, dadurch gekennzeichnet, dass das Wirkelement (12) zu einem Großteil, insbesondere vollständig, aus einem Metall besteht.
11. Photovoltaikelement nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass das Metall des Wirkelements (12) aus der 3. - 6. Hauptgruppe stammt oder ein Nebengruppenmetall aus der 1. - 8. Nebengruppe ist, dessen Elektronenkonfiguration vorzugsweise eine mit mindestens sechs, insbesondere zehn Elektronen besetzte d-Schale aufweist.
12. Photovoltaikelement nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, dass das Metall des Wirkelements (12) aus der Gruppe der Meta-Metalle stammt.

13. Photovoltaikelement nach einem der Ansprüche 10 - 12, dadurch gekennzeichnet, dass das Metall des Wirkelements (12) aus der Gruppe Cu, Zn oder Ga, insbesondere Zn stammt.
14. Photovoltaikelement nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, dass das Metall des Wirkelements (12) aus der Gruppe der Buntmetalle, insbesondere Co, Cu, Bi oder Zn stammt.
15. Photovoltaikelement nach einem der Ansprüche 1 - 14, dadurch gekennzeichnet, dass das Wirkelement (12) eine elektrische Leitfähigkeit von mehr als  $1,4 \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ , bevorzugt mehr als  $1,6 \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$  und besonders bevorzugt mehr als  $2,0 \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$  aufweist.
16. Photovoltaikeinrichtung mit einem Aufnahmeelement (54), das Ausnehmungen (56) aufweist, in denen mindestens ein Photovoltaikelement (44) nach einem der Ansprüche 1 - 15 angeordnet ist, wobei mit dem Photovoltaikelement (44) verbundene Leiter (14, 16) bzw. mit dem Leiter verbundene Sammel-Leiter (24, 26) jeweils mit einem ersten bzw. zweiten Kontakt-Leiter (46, 48) verbunden sind.
17. Photovoltaikeinrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass in mindestens einer Ausnehmung (56) mehrere Photovoltaikelemente (44) angeordnet sind, wobei die Ausnehmung (56) in Kontakt mit einem Photonenabsorber (10) des Photovoltaikelements (44) steht.
18. Photovoltaikeinrichtung nach Anspruch 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, dass mehrere erste Kontakt-Leiter (46) und mehrere zweite Kontakt-Leiter (48) jeweils mit genau einem ersten Strom-Leiter (50) bzw. genau einem zweiten Strom-Leiter (52) verbunden sind.

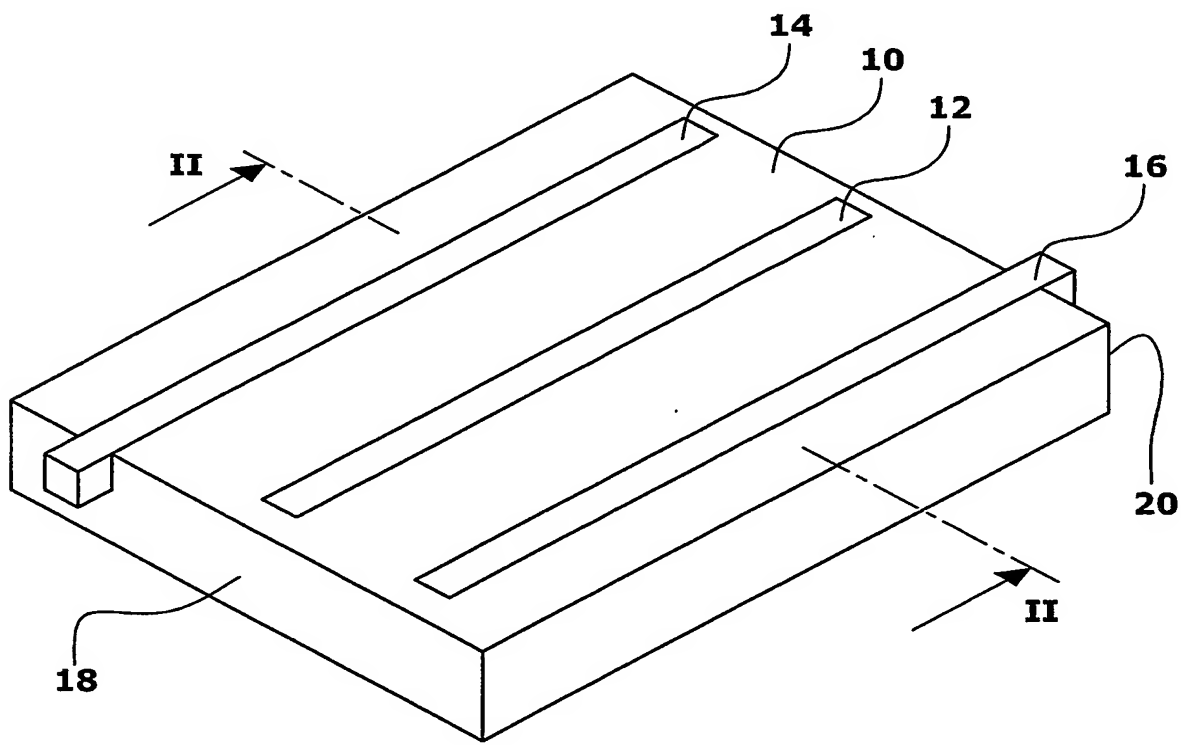
19. Photovoltaikeinrichtung nach einem der Ansprüche 16 - 18, gekennzeichnet durch Verbindungsmittel zum mechanischen und elektrischen Verbinden von mindestens zwei nebeneinander angeordneten Photovoltaikeinrichtungen (42).



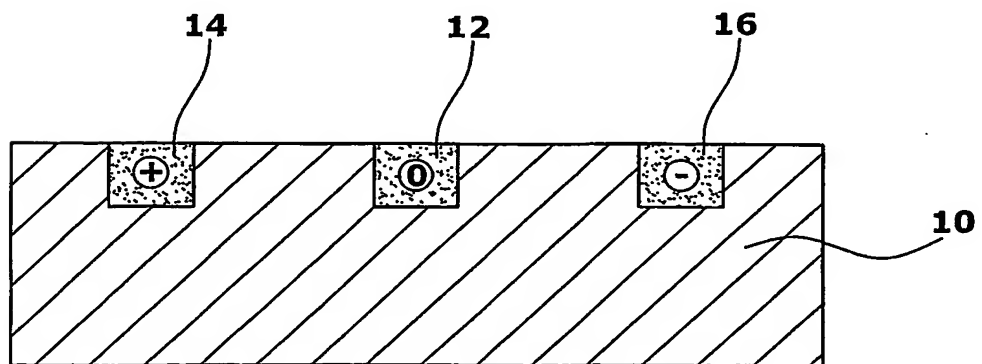
### **Zusammenfassung**

Ein Photovoltaikelement, das insbesondere als Solarzelle für Photovoltaikanlagen verwendet wird, weist einen Photonenabsorber (10) auf. In den Photonenabsorber (10) ist ein elektrisch leitfähiges Wirkelement (12) zumindest teilweise eingelassen. Das Wirkelement (12) ist über eine Phasengrenze von dem Photonenabsorber (10) getrennt. Ferner weist das Wirkelement (12) eine höhere Elektronenbeweglichkeit als der Photonenabsorber (10) auf. Überraschend wurde festgestellt, dass der Wirkungsgrad des erfindungsgemäßen Photovoltaikelements deutlich erhöht ist.

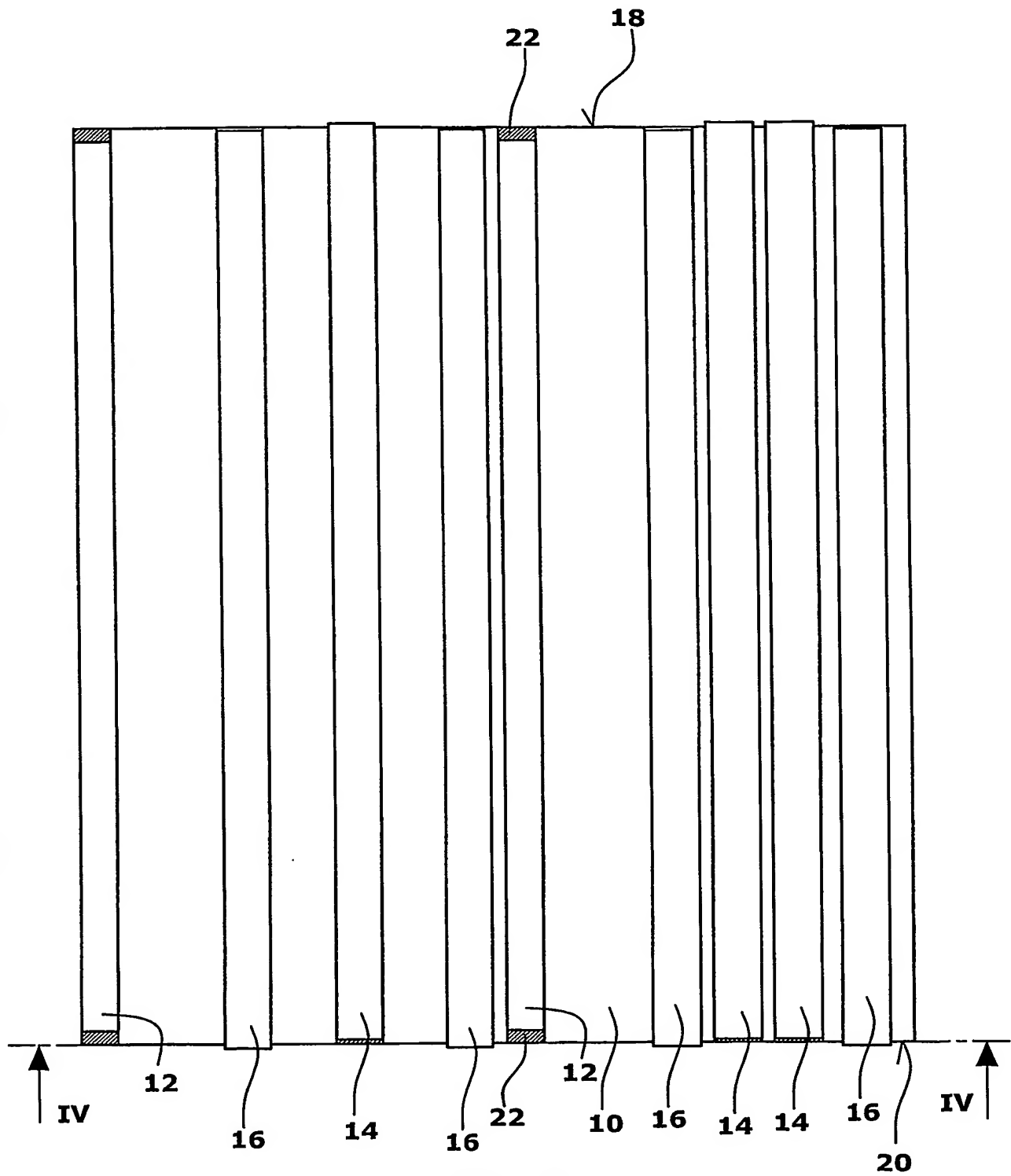
(Fig. 1)



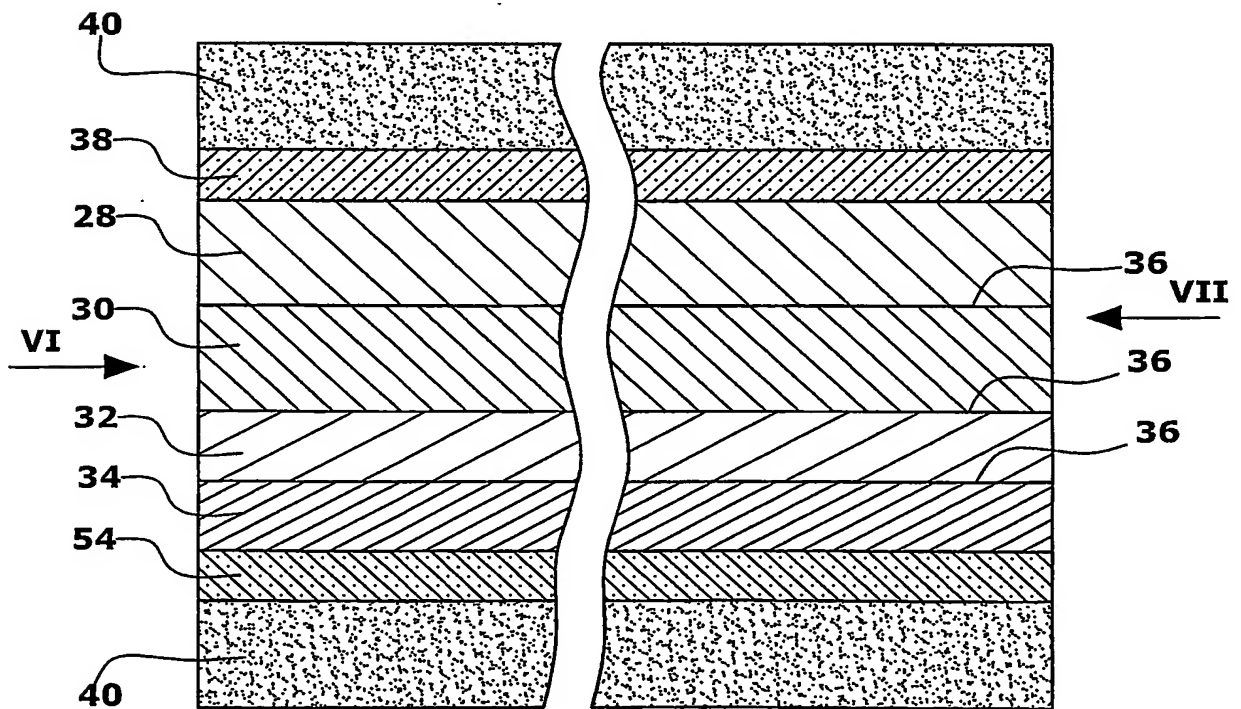
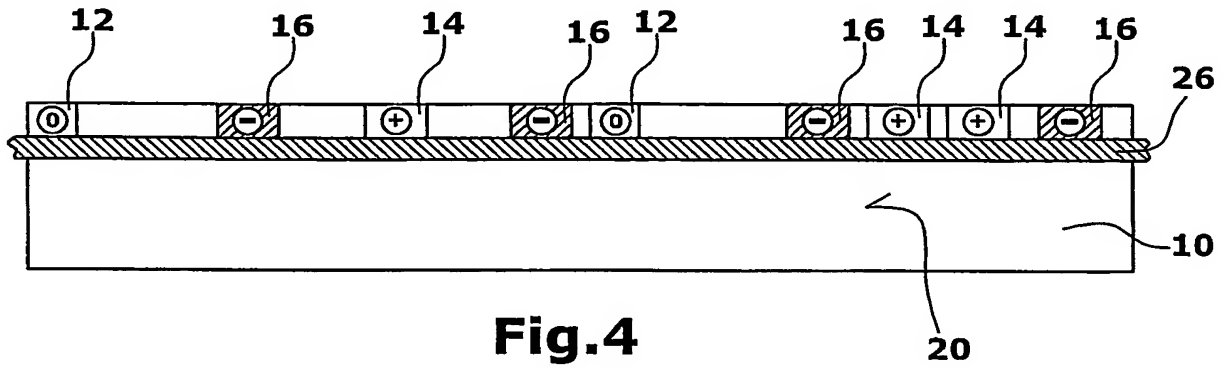
**Fig.1**

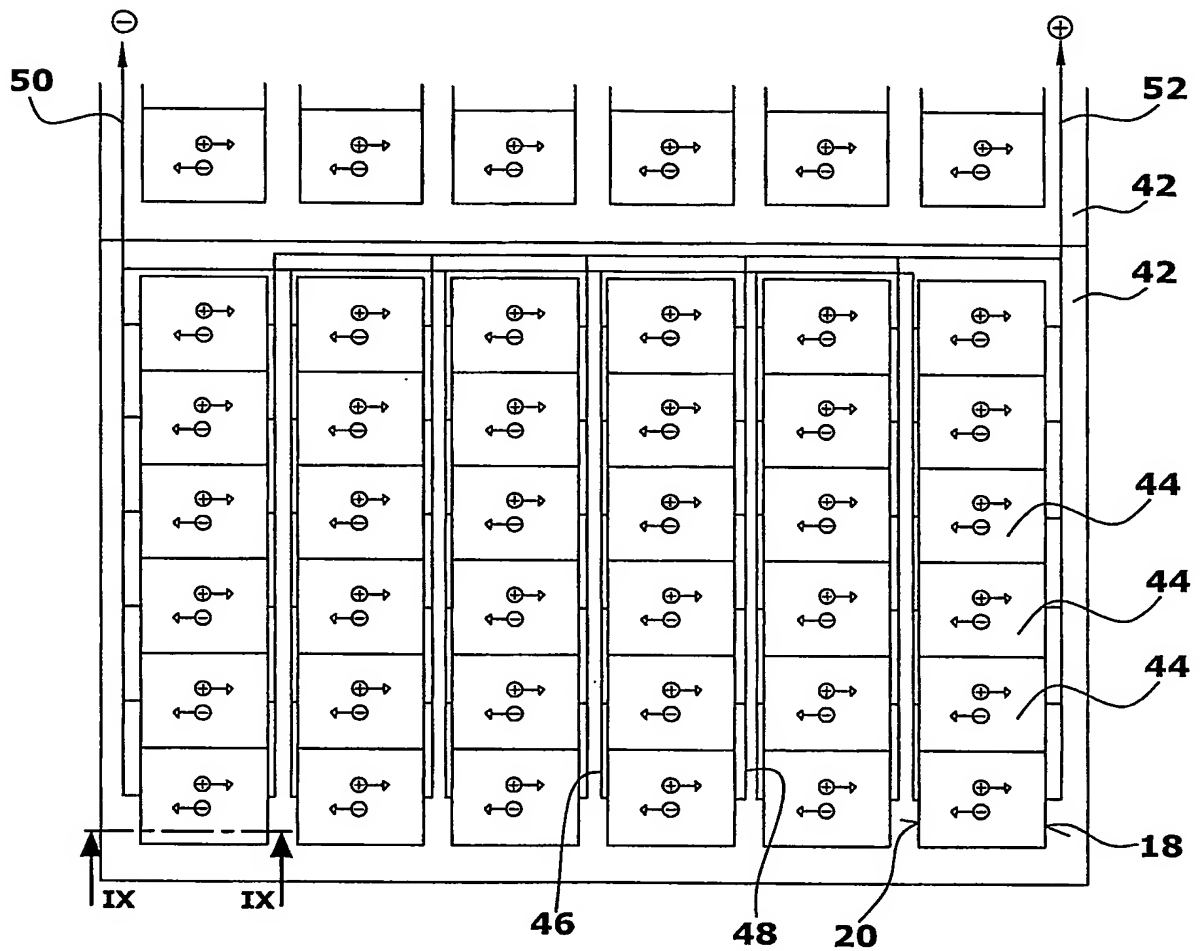


**Fig.2**

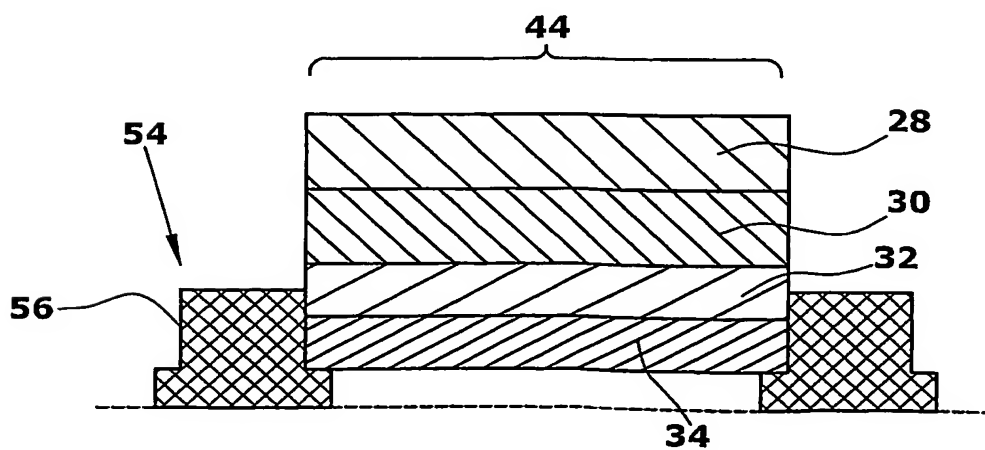


**Fig.3**



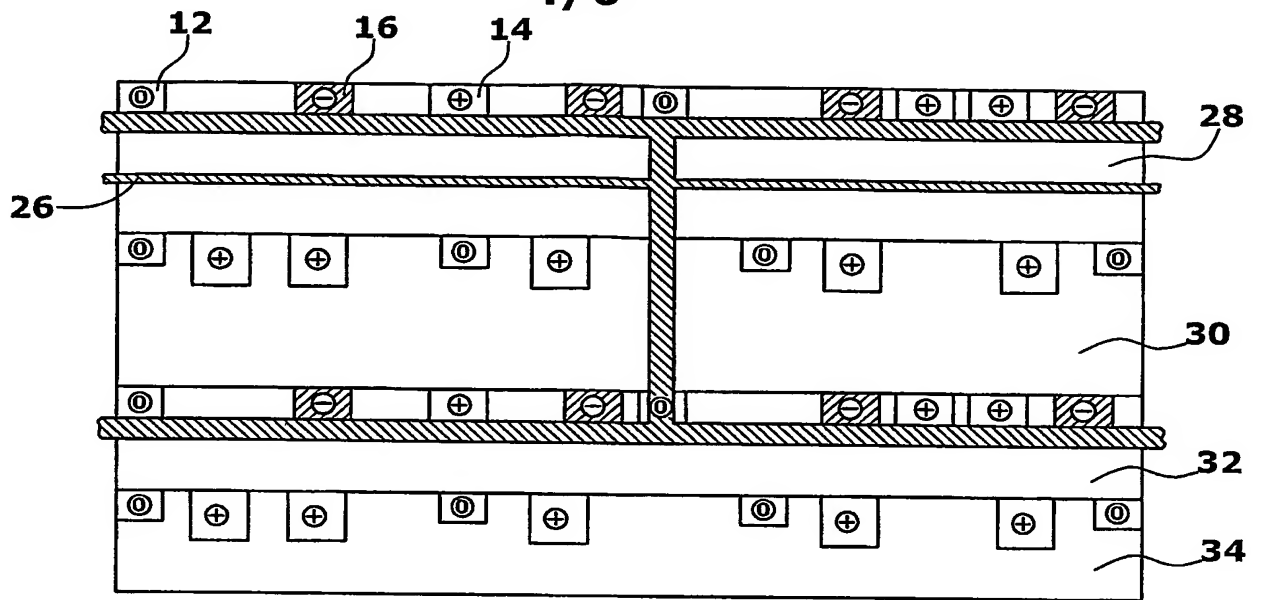


**Fig.8**

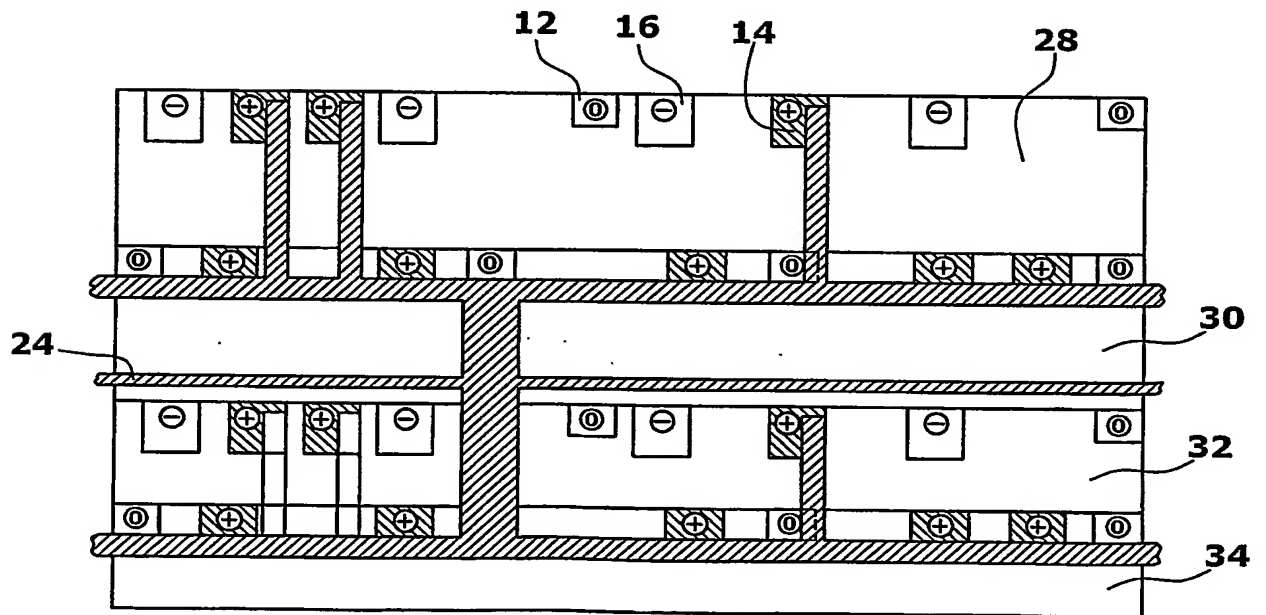


**Fig.9**

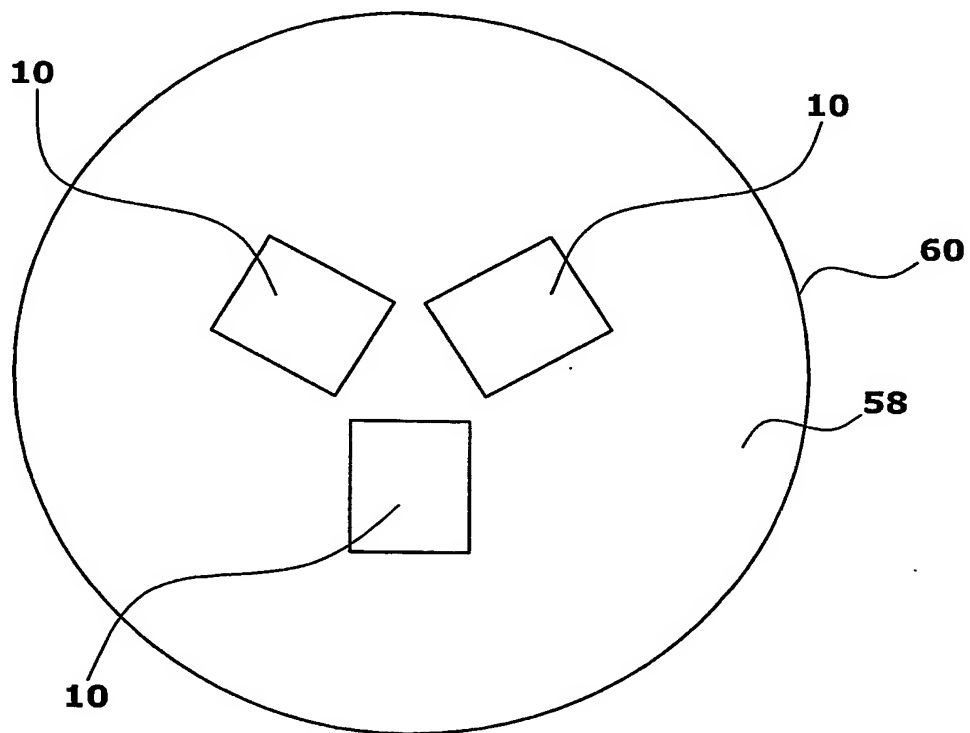
- 4/6 -



**Fig.6**



**Fig.7**



**Fig.10**